

Braunschweigische  
Wissenschaftliche Gesellschaft

# Jahrbuch 2015

Sonderdruck  
Seiten 207–209



J. CRAMER Verlag · Braunschweig  
2016

## **Modellierung von Strömung und Transport in terrestrischen Hydrosystemen – Das Wasser im Untergrund\***

INSA NEUWEILER

Institut für Strömungsmechanik und Umweltphysik im Bauwesen,  
Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Appelstraße 9a, D- 30167 Hannover  
E-Mail: neuweiler@hydromech.uni-hannover.de

Grundwasser macht einen erheblichen Anteil der Süßwasservorkommen aus. Obwohl der Anteil der Grundwasserneubildung an den terrestrischen Wasserflüssen gering ist, ist Grundwasser eine wichtige Ressource. Es wird als Trink- und Brauchwasser in Industrie und Landwirtschaft genutzt. Der Boden ist ein Speicher für Niederschläge und bildet so einen Puffer bei starken Regenereignissen. Auch für die Energiegewinnung kann Grundwasser eine gewisse Rolle spielen, beispielsweise als Trägerfluid bei geothermischer Energiegewinnung.

Da Wasser im Untergrund vielfältig genutzt wird, ist es oftmals ein problembehaftetes Thema. Die Probleme sind abhängig von den lokalen Gegebenheiten. In vielen Gegenden wird die Ressource Grundwasser knapp, etwa durch zunehmende Bevölkerung oder durch klimatische Änderungen. Nicht nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung zieht oftmals Probleme wie Salzwasserintrusion oder Bodenabsenkungen nach sich. Andernorts betreffen die Probleme eher die Wasserqualität, wie etwa Nitratbelastung, Schadstoffe aus kontaminierten Standorten oder aus Minenwässern. Zur nachhaltigen Planung sind Modelle nützlich, die die Strömung von Wasser und anderen Fluiden im Untergrund beschreiben und Vorhersagen oder Berechnungen von Szenarien möglich machen. Je nach Längenskala können unterschiedliche Modellierungskonzepte sinnvoll sein. Für Probleme, bei denen der Untergrund nicht nur eine Speicherfunktion hat, ist es meist wünschenswert, dass die Strömung räumlich aufgelöst dargestellt werden kann.

Die Strömung in porösen Medien auf mittleren (cm-km) Längenskalen wird meist in einer Kontinuums-Darstellung beschrieben, in der der Porenraum nicht explizit aufgelöst wird. Variablen wie Wasserdruck oder Fließgeschwindigkeit werden als über ein bestimmtes Kontrollvolumen gemittelt betrachtet. Die Strömung wird

---

\* Der Vortrag wurde am 13.02.2015 in der Klasse für Ingenieurwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

durch eine Massenbilanz und eine vereinfachte Impulsbilanz, bei thermischen Strömungen durch eine zusätzliche Energiebilanz am Kontrollvolumen beschrieben. Für die isotherme Strömung eines einzigen Fluides kann die vereinfachte Impulsbilanz, die Darcy Gleichung, geschlossen aus der Strömung im Porenraum abgeleitet werden. Voraussetzung für die Gültigkeit ist eine sehr kleine Reynolds-Zahl ( $Re \sim 1$ ) im gesamten Gebiet und die Existenz eines repräsentativen Elementarvolumens. Die Parameter für das Modell auf der Kontinuums-Skala lassen sich so gut erklären und abschätzen.

Obwohl diese Strömungsgleichungen etabliert sind, stellen sich in der Anwendungen oder in der Erweiterung der Gleichungen auf komplexere Probleme offene Fragen. Im Vortrag werden einige (wenige) dieser offenen Fragen und der entsprechende Forschungsbedarf vorgestellt.

Beim ersten Thema geht es um die Erweiterung der Modellgleichungen auf die Strömung mehrerer Fluide. Die Strömung mehrerer Fluide ist relevant für Strömungsprozesse im Boden (Wasser und Luft), aber auch für die Kontamination von Böden und Grundwasserleitern mit nicht wasserlöslichen Fluiden. Die Strömungsgleichungen werden für jedes Fluid formuliert, wobei zusätzlich halb-empirische Korrekturfunktionen und Schließungsbedingungen verwendet werden. Anders als für die Strömung eines einzelnen Fluides, gibt es hier keine geschlossene Ableitung aus der Strömungsgleichung im Porenraum, beziehungsweise nur für sehr vereinfachte Fälle wie stationäre Strömung in Kapillarbündelmodellen. Daher sind Abschätzungen der Modellparameter für die gängigen Kontinuums-Modelle problematisch, insbesondere für zeitabhängige Strömungsprozesse. Instabilitäten oder Fluideinschlüsse, die „Muster“ auf allen Längenskalen von der Porenskala an generieren können, und Gedächtniseffekte, also Prozesse, die auf nicht aufgelösten räumlichen Strukturen langsam ablaufen, werden von den gängigen Modellansätzen nicht erfasst. Es werden im Vortrag beispielhaft alternative Modellkonzepte vorgestellt, die diese Phänomene in Kontinuums-Modellen abbilden sollen.

Das zweite Thema betrifft die Kopplung von Strömung in porösen Medien mit der in anderen Kompartimenten. Dies wird am Beispiel der Modellierung von hydraulisch getriebenem Risswachstum im Felsgestein vorgestellt. Die Darstellung der Kopplung von Felsmechanik und Strömung im deformierbaren porösen Medium bzw. in den freien Rissen auf den kleinsten Längenskalen (wie etwa der Risspitze) erfordert sehr aufwändige numerische Verfahren.

Da Wasser im Untergrund nicht direkt beobachtet werden kann, sind Modellvorhersagen meist auf wenige und oft indirekte Beobachtungen basiert und daher oft mit großen Unsicherheiten behaftet. Im dritten Thema geht es um die Wahl der angemessenen Komplexität eines Vorhersagemodells basierend auf den gegebenen Informationen. Es besteht die Frage, wie weit bei einer bestimmten Datenlage ein möglichst physikalisch korrekt aufgebautes Modell Modellvorhersagen verbessert. Es wird mit einigen Beispielen demonstriert, dass bei wenigen punktuellen

Messungen oft simple Modelle, die mit Fehlermodellen korrigiert werden (und somit in gewisser Weise als in Richtung „black box“ Modelle tendierend gesehen werden können), bessere Vorhersagen ergeben als Modelle, die die Komplexität der Realität im Prinzip abbilden, jedoch wegen der mangelnden Information nicht kalibriert werden können.